

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

KATEDRA INFORMATIKY

**Rozšíření systému asistence řidiče o detekci přejezdu přes horizont
Driver Assistant System Extension by Horizont Detection**

Student:

Oskar Walder

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Olivka, Ph.D.

Ostrava

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Oskar Walder**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma: Rozšíření systému asistence řidiče o detekci přejezdu přes horizont
Driver Assistant System Extension by Horizon Detection

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro použití v automobilu, které bude detekovat během jízdy přejezd automobilu přes horizont. Výstup tohoto zařízení bude použit pro rozšíření stávajícího zařízení, které pomocí kamery detekuje podélné čáry vodorovného značení. Pro realizaci zařízení použijte doporučené moduly firmy NXP.

1. Seznamte se se systémem pokročilé asistence řidiče ADAS firmy NXP.
2. Seznamte se s technickými parametry modulů NXP, zejména s procesorovou deskou a polohovými senzory.
3. Vyberte a navrhněte způsob komunikace modulů, navrhněte potřebnou konfiguraci a ověřte celkovou funkcionalitu a přenos dat.
4. Vyberte nebo navrhněte potřebné filtry pro zpracování digitálních dat z polohových senzorů. Dbejte zejména na potlačení vlivu samotného automobilu na měřená data.
5. Navrhněte možnosti detekce přejezdu horizontu a ověřte jejich spolehlivost.
6. Navrhněte a realizujte samostatnou GUI aplikaci, která bude zobrazovat výstup systému v on-line i off-line režimu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Technická dokumentace gyroskopu: <http://www.freescale.com/products/sensors/gyroscopes/freescale-3-axis-digital-gyroscope:FXAS21002C>
2. Technická dokumentace 6DOF senzoru: <http://www.freescale.com/products/sensors/6-axis-sensors/digital-sensor-3d-accelerometer-2g-4g-8g-plus-3d-magnetometer:FXOS8700CQ>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Olivka, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

26. 4. 2016

Datum

Oskar Walder

Oskar Walder

Abstrakt

Cílem této práce je rozšíření systému asistence řidiče o detekci přejezdu vozidla přes horizont. Navrhnout vhodné řešení detekce horizontu za pomoci pozičních senzorů, provedení testu funkčnosti, zhodnocení naměřených výsledků a vybraného řešení.

V úvodu je nastíněná problematika rozšířeného systému pro asistenci řidiče při detekování vodící čáry na vozovce. Následuje hlavní část práce, kde je popsáno navržené řešení detekce horizontu a jeho realizace za použití pozičních senzorů. Dále jsou popsány vlastnosti daných pozičních senzorů, spolu s odstraněním nebo alespoň potlačení jejich negativních vlastností, za použití známých algoritmů i vlastního návrhu filtrování, přizpůsobené pro danou situaci. V závěru práce je zhodnocení vybraného řešení a způsob dalšího využití.

Klíčové slova

Detekce horizontu, poziční senzory, gyroskop, akcelerometr, fúze senzorů

Abstract

The aim of this work is an extension of the advanced drive assistant system about detect crossing vehicles across the horizon. Propose suitable solutions for detection of the horizon using positional sensors, integrity test, evaluation of measured results and the selected solution.

The introduction outlines the problems extended system to assist the driver in detecting the guide lines on the road. Following a major part of the work which is described proposed solution horizon detection and its implementation using the position sensors. The following describes the characteristics of the position sensor, together with the removal or at least suppressing their negative characteristics using known algorithms and own design filtering adapted to the situation. The conclusion of the assessment solution and a way of further use.

Key words

Horizon detection, positional sensors, gyroscope, accelerometer, sensor fusion

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

I2C - Inter-Integrated Circuit

ADAS - Advanced Driver Assistance Systems

GPS - Global Positioning System

LiDAR - Light Detection And Ranging – metoda měření vzdálenosti

ADC - Analogově digitální převodník

SDK - Software development kit je sada vývojových nástrojů

HDMI - High-Definition Multi-media Interface

WiFi - Wireless LAN

Obsah

Abstrakt	2
Klíčové slova	5
Abstract	6
Key words	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
1. Úvod	9
2. Pokročilý systém pro podporu řízení	10
2.1 Varování při vyjetí z jízdního pruhu	10
2.2 Použití kamerového senzoru pro snímání vodící čáry	10
3. Navržené řešení	11
3.1 Přenos dat pomocí I ² C sběrnice	12
3.2 Implementace I ² C komunikace	13
3.3 Gyroskopický senzor FXAS21002C	14
3.4 Akcelerační senzor FXOS8700CQ	15
4. Potlačení vlivu automobilu na naměřená data	16
4.1 Dolní propust	16
4.2 Nelineární filtr	17
5. Potlačení negativních vlastností senzorů	18
5.1 Kompenzace driftu	18
5.2 Komplementární filtr	19
5.3 Kalmanův filtr	20
5.3.1 Návrh Kalmanova filtru	20
6. Detekce přejezdu přes horizont	21
6.1 Návrh detekce přejezdu přes horizont	22
6.2 Architektura aplikace	24
6.3 Zobrazení výsledků algoritmu	25
7. Závěr	26
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29
SEZNAM PŘÍLOH	30

1. Úvod

Systém asistence řidiče poskytuje řidiči snadnější a bezpečnější ovládání automobilu. Mezi jeho funkce patří kromě ostatního i udržení automobilu na vozovce za pomoci rozpoznání vodící čáry vozovky. K rozpoznání vodící čáry se v tomto případě používá kamera přimontovaná na přední části automobilu a program rozpoznávání obrazu. Pokud automobil přejíždí přes horizont a kamera není nasměrována na vozovku, tak systém nedokáže v obraze nalézt vodící čáru a zkolabuje, proto je potřeba navrhnout řešení detekce přejezdu přes horizont, který informuje systém rozpoznání vodící čáry o daném přejezdu přes horizont.

Aby navržené řešení bylo co nejméně nákladné a univerzální, využívá běžných senzorů všech moderních automobilů. Moderní automobily obsahují velké množství senzorů a běžně se mezi těmito senzory vyskytují akcelerometr, magnetometr a gyroskop. Zmíněné tři senzory slouží jako základ navrženého řešení detekce horizontu.

2. Pokročilý systém pro podporu řízení

Mezi pokročilé systémy pro podporu řízení patří systémy vyvinuty pro automatizaci, přizpůsobení a zlepšení vlastností vozidla, se zaměřením na bezpečnější a lepší řízení. Bezpečnostní funkce jsou navrženy k vyhnutí se kolizím a zabránění nehody tak, že upozorní řidiče na potenciální problémy nebo z důvodu zabránění kolize přebírají kontrolu nad vozidlem. Adaptivní funkce mohou automatizovat osvětlení, poskytovat adaptivní tempomat, automatické brždění, varovat řidiče za pomoci dat z GPS, komunikovat s chytrými mobilními telefony, varovat řidiče na další automobily nebo na nebezpečí, udržovat řidiče ve správném jízdním pruhu a hlídat nebezpečí přicházející ze slepých míst.

V dnešní době je k dispozici mnoho funkcí ze systému ADAS. Některé funkce jsou standardní součástí automobilu, jiné jsou k dispozici v podobě přídatných balíčků. ADAS se spoléhá na vstupy z různých datových zdrojů, včetně obrazového, LiDAR, radarového, zpracování obrazu, počítačového vidění a z automobilových sítí. Jako další vstupy je možno využít datové zdroje, které nejsou součástí daného vozidla, například vstupy z ostatních vozidel, nazývané jako z Vozidla do Vozidla (V2V) nebo z ostatních infrastruktur jako jsou mobilní telefony a datové sítě typu WiFi.

Pokročilé systémy pro podporu řízení jsou jedny z nejrychleji se rozvíjejících odvětví automobilové elektroniky.

2.1 Varování při vyjetí z jízdního pruhu

Jedná se o mechanismus, který varuje řidiče, pokud vozidlo začne vybočovat ze svého jízdního pruhu, bez použití odbočovacích signálních světel. Tyto systémy jsou navrženy tak, aby minimalizovali nehodovost tím, že řeší hlavní příčiny kolizí. Mezi hlavní příčiny kolize patří: chyba řidiče, rozptýlení nebo ospalost.

Metody snímání vodící čáry:

Infračervené senzory (namontované buď za čelním sklem, nebo pod vozidlem)

Laserové snímače (namontované na přední části vozidla)

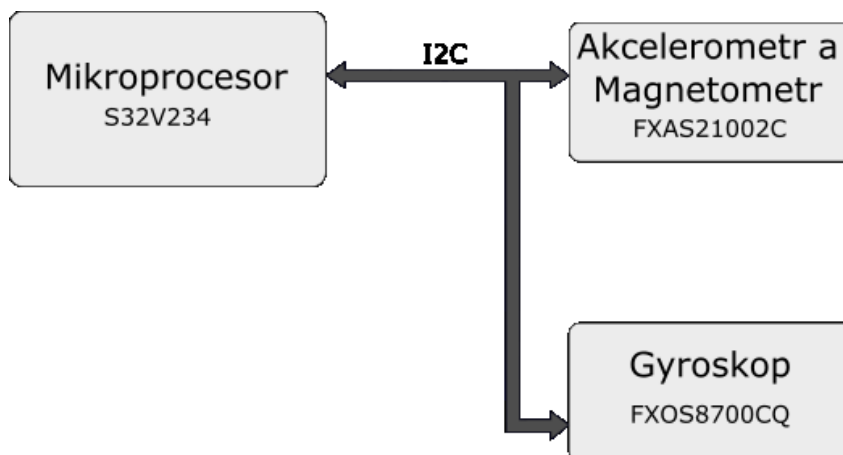
Kamerový senzor (umístěný za přední sklo, typicky integrovány vedle zpětného zrcátka)

2.2 Použití kamerového senzoru pro snímání vodící čáry

Procesor zpracovává obraz z kamery a vyhodnocuje, zda automobil začíná vybočovat z jízdního pruhu. Jelikož je kamera namontována pevně k automobilu, nastává problém při přejíždění přes horizont. Pokud je kopec příliš ostrý, kamera přestane snímat vozovku, procesor nerozpozná vodící čáru a dojde k chybě.

3. Navržené řešení

Systém detekce přejezdu přes horizont se skládá ze tří senzorů a jednotky pro zpracování výsledků. Jednotka pro zpracování výsledku je procesor 32bitové architektury firmy NXP s označením S32V234, který je navržen pro aplikace asistence řidiče (Advance Drive Assistance System - ADAS). Tento mikroprocesor obsahuje 4 jádra architektury Arm-A53 a jedno jádro M0 pro embedded aplikace. Procesor komunikuje s externími senzory přes I2C sběrnici ve funkci master. Po jedné I2C sběrnici probíhá konfigurace i přenos naměřených dat. Připojenými externími senzory k procesoru jsou tři osový digitální gyroskop s označením FXAS21002C a šesti osový kombinovaný digitální 3D akcelerometr s 3D magnetometrem s označením FXOS8700CQ.

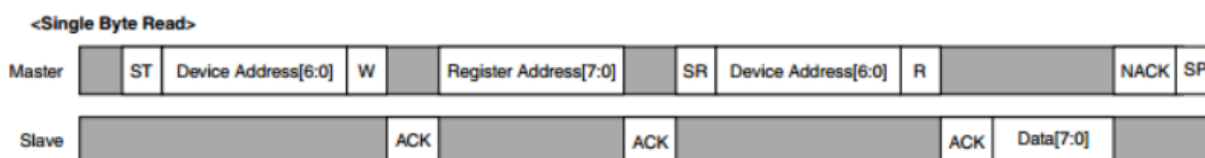


Obr. 1 Návrh řešení

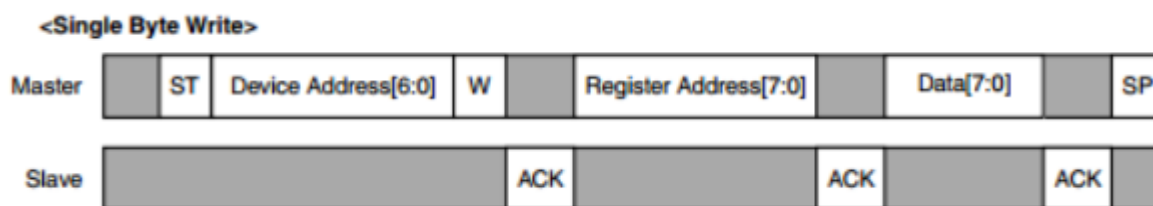
3.1 Přenos dat pomocí I²C sběrnice

Sběrnice I²C (I²C-bus, Inter-IC-bus) je dvou vodičové datové propojení mezi jedním nebo několika procesory (Masters) a speciálními periferními součástkami (Slaves). Všechny součástky jsou připojeny na téže sběrnici a jsou cíleně vybírány svými adresami. Adresy i data se přenášejí týmiž vodiči. Sběrnice umožňuje velmi jednoduché propojení mezi několika integrovanými obvody a bezproblémové dodatečné rozšiřování. [2]

Přenos dat po sběrnici probíhá v tak zvaném „multi modu“. Oproti klasickému přenosu se po odeslání dat nemusí přenos ukončit a znovu adresovat, ale rovnou se mohou odesílat další data. Aby byl takový přenos možný použít, musí být podporován na zařízeních typu slave. Dále je potřeba, aby obslužný software podporoval tento typ přenosu.



Obr. 2 Sekvenční diagram čtení v normálním modu [1]



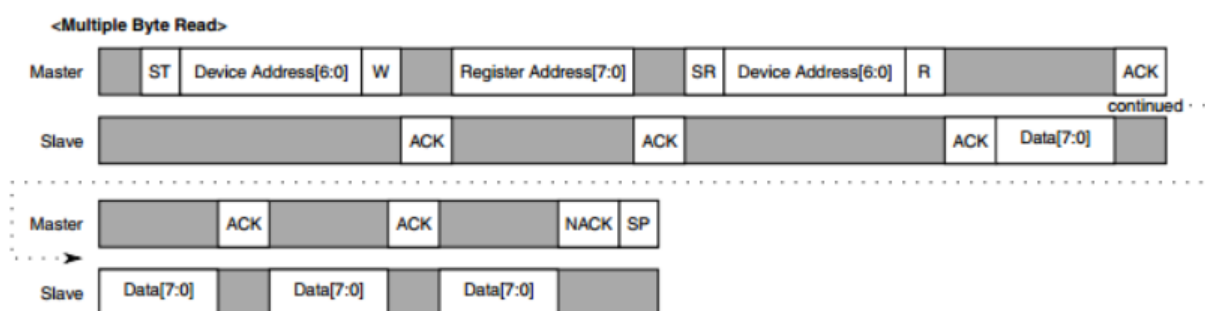
Obr. 3 Sekvenční diagram zápisu v normálním modu [1]

V takovém režimu má sběrnice poměrně nízkou propustnost. Pro zapsání jednoho bytu dat je zapotřebí přenést 2 byty pro obsluhu. Pro přečtení jednoho bytu dat je zapotřebí přenést 3 byty pro obsluhu.

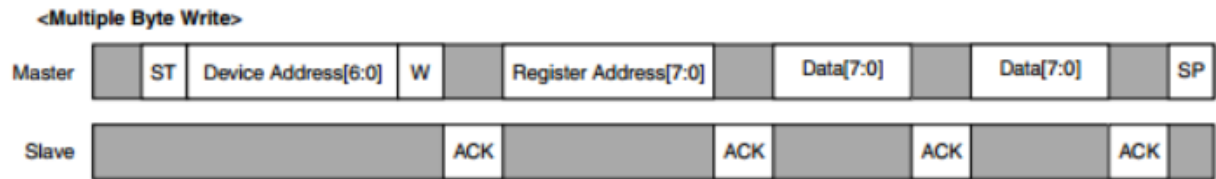
Propustnost při zápisu 4,16kB/s

Propustnost při čtení 3,12kB/s.

Větší propustnost dosáhneme obsluhovááním sběrnice v „multi modu“.



Obr. 4 Sekvenční diagram zápisu v multi modu [1]



Obr. 5 Sekvenční diagram zápisu v multi modu [1]

V takovém režimu je možnost za pomoci 3 obslužných bytu přečíst a za pomoci 2 obslužných bytu zapsat neomezené množství dat. Zařízení typu slave po každém detekování potvrzovacího signálu (ACK) zasílá nebo přijímá další byte dat, ukončení se provede pokud je na sběrnici vyslán nepotvrzovací signál (NACK) nebo podmínka stop.

V případě obsluhy gyroskopu je zapotřebí přečíst 6 bytu dat, v případě senzoru obsahující magnetometr a akcelerometru 12 bytu. V takovém případě je propustnost sběrnice při čtení dat z gyroskopu 8,33 kB/s a z druhého senzoru 10,83 kB/s.

3.2 Implementace I²C komunikace

Kompletní implementace I²C komunikace je obsažena v souborech i2c.h and i2c.cpp. V souborech jsou implementované funkce základních operací po sběrnici i složitější operace jako je multi-write a multi-read, vysvětleny v odstavci 3.1. Vybraná vývojová deska obsahuje 3 instance I²C sběrnice.

```

#define I2C0 0
#define I2C1 1
#define I2C2 2
  
```

```

#define WRITE 0
#define READ 1
  
```

Základní I²C operace:

```

void I2C_Start(vuint8_t module);
void I2C_RepeatStart(vuint8_t module);
void I2C_WriteByte(vuint8_t module, vuint8_t data);
vuint8_t I2C_ReadByte(vuint8_t module, vuint8_t datab);
void I2C_Stop(vuint8_t module);
  
```

Pokročilé I²C operace:

```

void I2C_RegsRead(vuint8_t module, vuint8_t slave_addr, vuint8_t reg_addr, vuint8_t N,
vuint8_t * buffer);
vuint8_t I2C_RegWrite(vuint8_t module, vuint8_t slave_addr, vuint8_t reg_addr,
vuint8_t data_byte);
vuint8_t I2C_RegRead(vuint8_t module, vuint8_t slave_addr, vuint8_t reg_addr);
void I2C_ReadBytes(vuint8_t module, vuint8_t datab, vuint8_t N, vuint8_t * buffer);
void I2C_WriteBytes(vuint8_t module, vuint8_t N, vuint8_t * buffer);
  
```

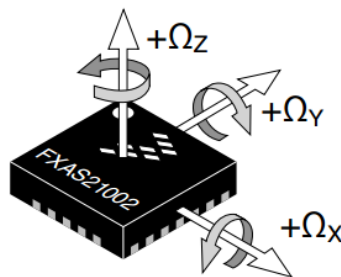
Ostatní I²C operace:

```

void I2C_Pin_Init(vuint32_t i2c_module); // Konfigurace pinů desky
void I2C_Init_Config(vuint8_t i2c_module); // Inicializace I2C modulu
  
```

3.3 Gyroskopický senzor FXAS21002C

Je miniaturní, nízko příkonový gyroskop s 16bit ADC rozlišením. Rozsah gyroskopu je nastavitelný od ± 250 °/s do ± 2000 °/s. FXOS8700CQ je schopný měřit s frekvencí od 12,5 Hz do 800 Hz. Integrovaný filtr dolní propusti umožňuje omezit šířku pásma digitálního signálu. Pracovní teplotní rozsah je od -40 °C do +85 °C. [1]



Obr. 6 Referenční rámec pro rotační měření [1]

Naměřená data gyroskopu udávají rychlost změny úhlové polohy za jednotku času. To znamená, že dostáváme derivát úhlové rychlosti v průběhu času.

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$$

[4]

Pro získání úhlové polohy je zapotřebí integrovat úhlové rychlosti. Za předpokladu, že $t = 0$ a $\theta = 0$ můžeme získat úhlovou polohu okamžiku t z následující rovnice.

$$\theta(t) = \int_0^t \dot{\theta}(t) dt \approx \sum_0^t \dot{\theta}(t) T_s$$

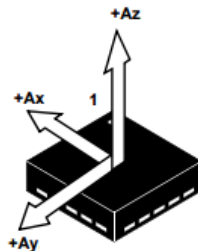
[4]

Ukázka části program pro výpočet úhlu předního naklonění.

```
/* gyro pitch calculation */
gyroPitch -= rawGyro[Y] / GYROSCOPE_SENSITIVITY * dt;
```

3.4 Akcelerační senzor FXOS8700CQ

Je miniaturní, nízko příkonový lineární tří osový akcelerometr s 14bit ADC rozlišením. Rozsah akceleračního měření je možno nastavit na jednu z hodnot $\pm 2\text{ g}$ / $\pm 4\text{ g}$ / $\pm 8\text{ g}$. FXOS8700CQ je schopný měřit s frekvencí od 1.567 Hz do 800 Hz. [2]

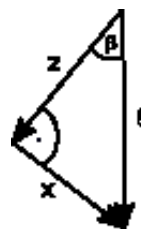


Obr. 7 Orientace os akcelerometru [2]

Výpočet bočního náklonu akcelerometru:

$$\tan \beta = \frac{x}{z}$$

$$\beta = \arctan \frac{x}{z}$$



Obr. 8 Výpočet úhlu akcelerometru

g – vektor gravitačního zrychlení
 z – vektor zrychlení po ose z
 x – vektor zrychlení po ose x
 β – úhel bočního náklonu akcelerometru

Ukázka části program pro výpočet úhlu bočního naklonění akcelerometru

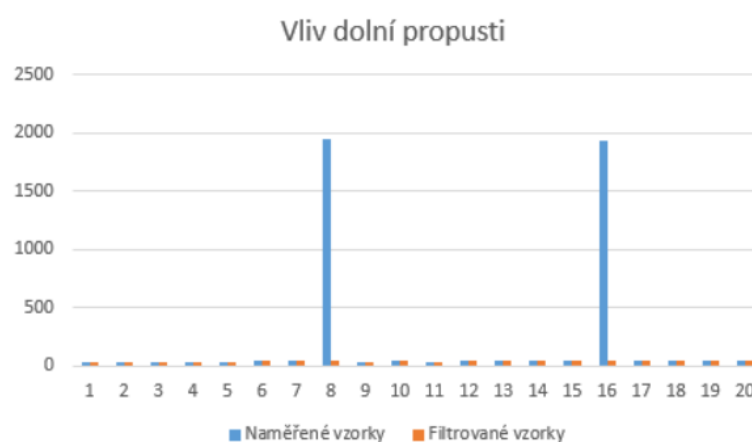
```
/* Roll angle calculation */
AccRoll = (atan2f(AccelX[GyroXcounter],AccelZ[GyroXcounter]) * 180) / PI;
```

4. Potlačení vlivu automobilu na naměřená data

Spalovací motor automobilu vytváří při každém zažehnutí spalín vibrace, které negativně ovlivňují měření senzory. Mnohem horší situace nastává, pokud je vozidlo v pohybu. Kromě vibrací způsobenými motorem, navíc podléhá otřesům z nerovnosti vozovky, proto je zapotřebí co nejvíce potlačit vliv automobilu na naměřená data.

4.1 Dolní propust'

Aby se vyloučili okamžité chyby naměřených hodnot, je použit filtr dolní propusti. Tato dolní propust odfiltruje nesmyslné výsledky způsobené vibracemi. Zvolené senzory obsahují filtry dolní propusti již v chipu, který se aktivuje nastavením příslušného bitu v konfiguračním registru, a proto není potřeba další implementace.



Obr. 9 Vliv dolní propusti na naměření vzorky

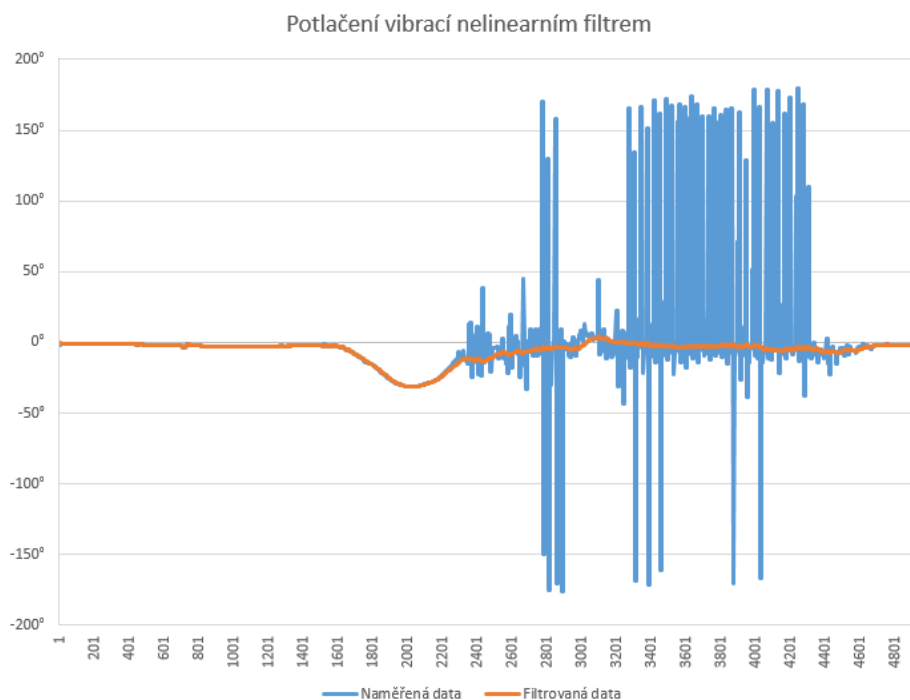
4.2 Nelineární filtr

Pokud na akcelerometr působí vibrace, tak se velice rychle odkloní naměřený vektor gravitační síly od skutečného vektoru. V takové situaci naměřená data ztrácí smysl a je třeba je vhodně filtrovat. Pro filtraci jsem zvolil nelineární filtr omezující strmost náběžných a sestupných ramp. Strmost hran byla odvozena od série testů různých hran a jejich následným porovnáním. Jako maximální hodnotu pro klesání i pro zvyšování úhlu je zvolena 0.2° za vzorek, při vzorkovací frekvenci 168 Hz hodnota odpovídá změně úhlu o velikost $33.6^\circ/\text{s}$.

```
// non-linear filtration
#define ACCELMAXGAIN 0.2

// accelerometer pitch filtration
if ((accel_pitch - accel_pitch_previous) > ACCELMAXGAIN)
    accel_pitch = accel_pitch_previous + ACCELMAXGAIN;
else if ((accel_pitch - accel_pitch_previous) < -ACCELMAXGAIN)
    accel_pitch = accel_pitch_previous - ACCELMAXGAIN;
else
    accel_pitch = accel_pitch;
```

Za pomoci zvolené implementace se odstranila chyba vzniklá při vzorkování dat během otřesu senzorů. I během otřesu je možno změřit úhel z akcelerometru.



Obr. 10 Potlačení vibrací nelineárním filtrem

5. Potlačení negativních vlastností senzorů

Pro správnou funkci je nezbytné nastavit senzory na co největší přesnost a zároveň co nejvíce potlačit chyby vzniklé při měření. Je potřeba potlačit vzorky obsahující chybné výsledky, k tomu je nutné použít filtr dolní propusti. Dále je potřeba potlačit vliv samostatného automobilu na naměřené data. Digitální gyroskopy obsahují akumulaci chyby, která zapříčiňuje, že s narůstající délkou měření se naměřený výsledek odkloní od skutečného, tak zvaný „drift“. Tento drift je potřeba kompenzovat za pomoci akcelerometru. Naměřené údaje z akcelerometru a gyroskopu se přepočítají v jeden výsledek za pomoci vhodného algoritmu. Tento postup se v praxi nazývá „Sensor fusion“.

5.1 Kompenzace driftu

Pro zpracování dat z gyroskopu a akcelerometru, pro dosažení správného výsledku a kompenzování driftu je zapotřebí použít vhodný algoritmus. První možností je použít komplementární filtr a druhou Kalmanův filtr.

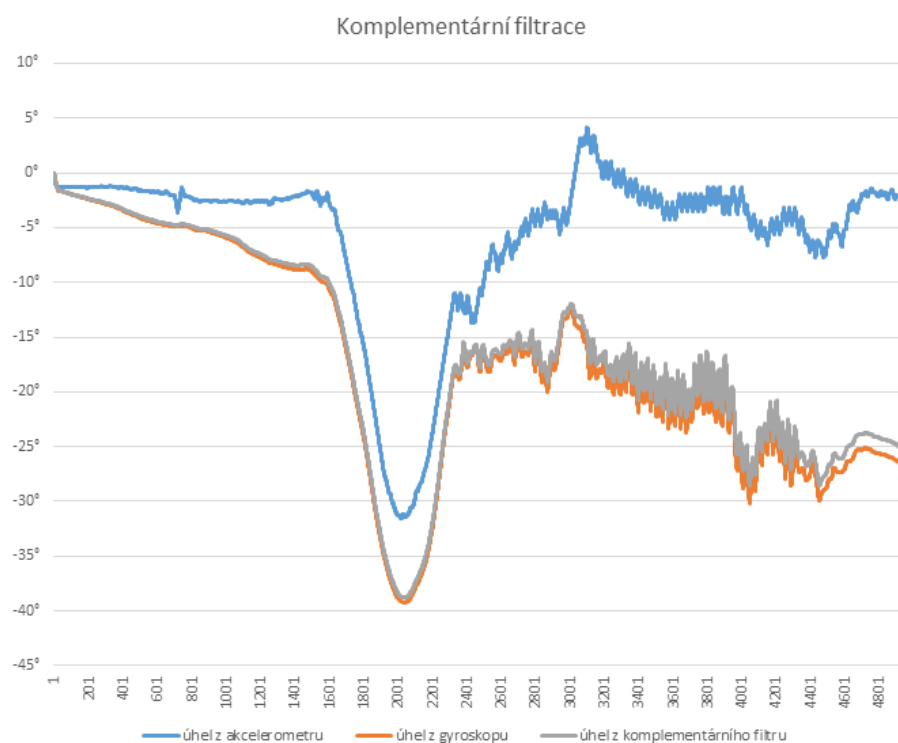
5.2 Komplementární filtr

Komplementární filtrace je jednoduchý algoritmus, který je vhodný použít i na zařízeních s nedostatečným výpočetním výkonem. Tento algoritmus je jednodušší na implementaci i na výpočet, ale není schopen potlačit šum ani kompletně odstranit drift gyroskopu.

$$\alpha = k \cdot (\beta + g \cdot dt) + (1 - k) \cdot a$$

Kde:

- α je výsledný úhel
- k je váha gyroskopu
- β je předchozí úhel
- g je úhlové zrychlení gyroskopu
- dt je vzorkovací perioda
- a je úhel akcelerometru



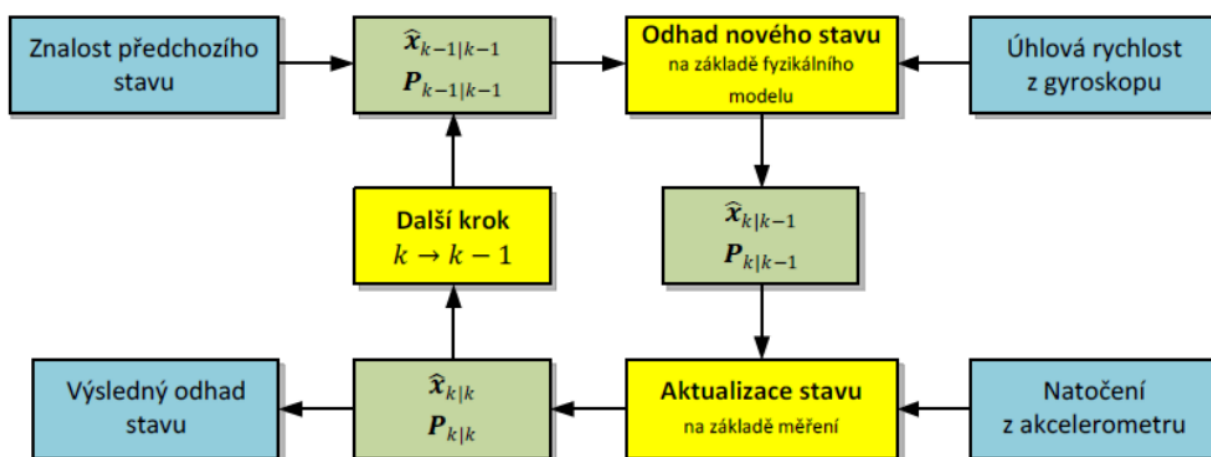
Obr. 11 Komplementární filtrace

5.3 Kalmanův filtr

Kalmanova filtrace je algoritmus schopný filtrovat signál v časové oblasti. Není nutný převod do frekvenční oblasti. Výhodou tohoto algoritmus je možnost získat čistý signál i ze zašuměné oblasti nebo z jinak znehodnoceného souboru hodnot.

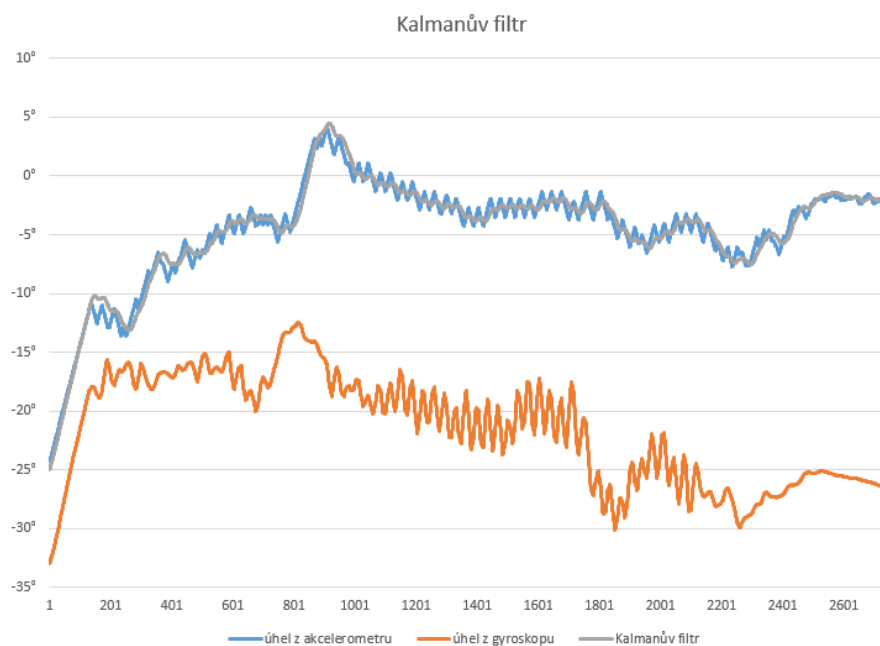
5.3.1 Návrh Kalmanova filtru

Každý krok algoritmu (viz obr. 12) se skládá ze dvou fází – fáze odhadu, ve které se vytváří odhad nového stavu systému a fázi aktualizace, kdy algoritmus sloučí hodnoty odhadu a měření pomocí váženého průměru [5].



Obr. 12 Průběh algoritmu Kalmanova filtru [5].

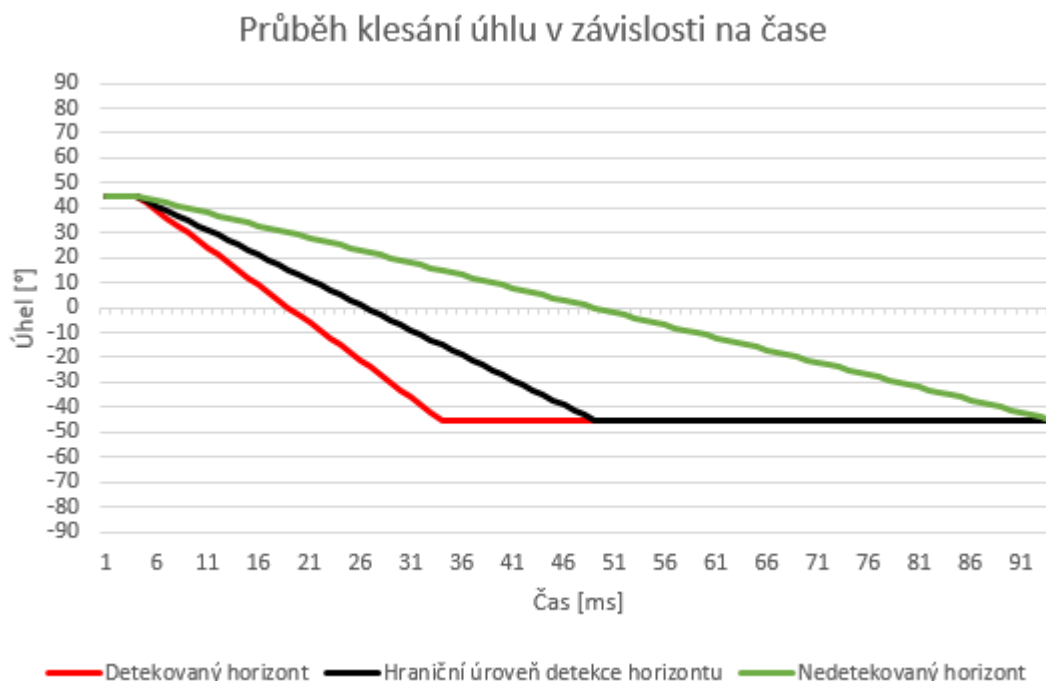
Ve schématu má $x_{n|m}$ význam odhadu hodnoty x v čase n za použití pozorování získaných do času m , proměnná x je stavový vektor a P je kovarianční matice. [5]



Obr. 13 Kalmanův filtr

6. Detekce přejezdu přes horizont

V tomto případě je horizont definován jako určená velikost klesání za jednotku času, tuto hodnotu značíme k . Detekce horizontu se provádí za pomoci znalosti předního náklonu automobilu, nazývané „pitch“, pokud tento úhel klesání za jednotku času je větší než k , potom je detekován přejezd přes horizont. Aby bylo možno rozlišit klesání úhlu za jednotku času způsobené vibracemi je potřeba definovat čas, po který musí být dané klesání menší než k , tento čas nazýváme d . Čas d tedy definuje zpoždění začátku detekování horizontu. Je třeba na základě testování definovat vhodnou velikost času d . Pokud bude d příliš malé, bude signalizován falešný přejezd přes horizont způsobený vibracemi, naopak pokud bude hodnota d příliš velká, bude generovaný signál natolik zpožděný, že bude dále nepoužitelný.



Obr. 14 Definice detekce horizontu

Po důkladném měření a testování, byla zvolena jako hraniční hodnota pro detekci horizontu zvolena úroveň klesání $k = 6,72^\circ/\text{s}$ a jako maximální doba zpoždění $d = 0,3\text{s}$.

6.1 Návrh detekce přejezdu přes horizont

Aplikace bude pravidelně kontrolovat nově vypočítaný úhel s předchozí hodnotou úhlu, pokud bude nová hodnota úhlu menší než předchozí hodnota, bude detekováno klesání. Jakmile bude detekované klesání, začne se kontrolovat, zda je velikost klesání větší, než je velikost úrovně klesání pro definici horizontu. Pro odlišení falešného detekování horizontu způsobené krátkým snížením úhlu, je zapotřebí, aby byl detekovaný horizont potvrzený i následujícími vzorky. Poté je detekovaný horizont potvrzený a signalizovaný v aplikaci.

Je zapotřebí vhodně nastavit dobu potvrzování detekovaného horizontu. Pokud by tato doba byla příliš krátká, procesor by detekoval falešný signál přejezdu přes horizont způsobeným vibracemi automobilu, například při nerovnosti vozovky. Naopak čím delší bude tato doba, tím bude větší zpoždění detekování horizontu.

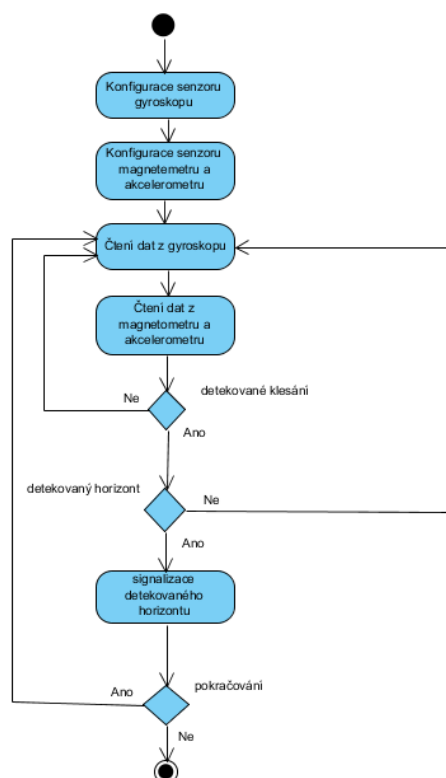
Program obsluhuje poziční senzory a vypočítává úhel s frekvencí $f = 168$ Hz, pro výpočet odpovídajícího počtu vzorků před generováním detekčního signálu je použit vzorec:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{168} = 0.00595 \text{ s}$$

$$p = \frac{d}{T} = \frac{0.3}{0.00595} = 50,4 \approx 50$$

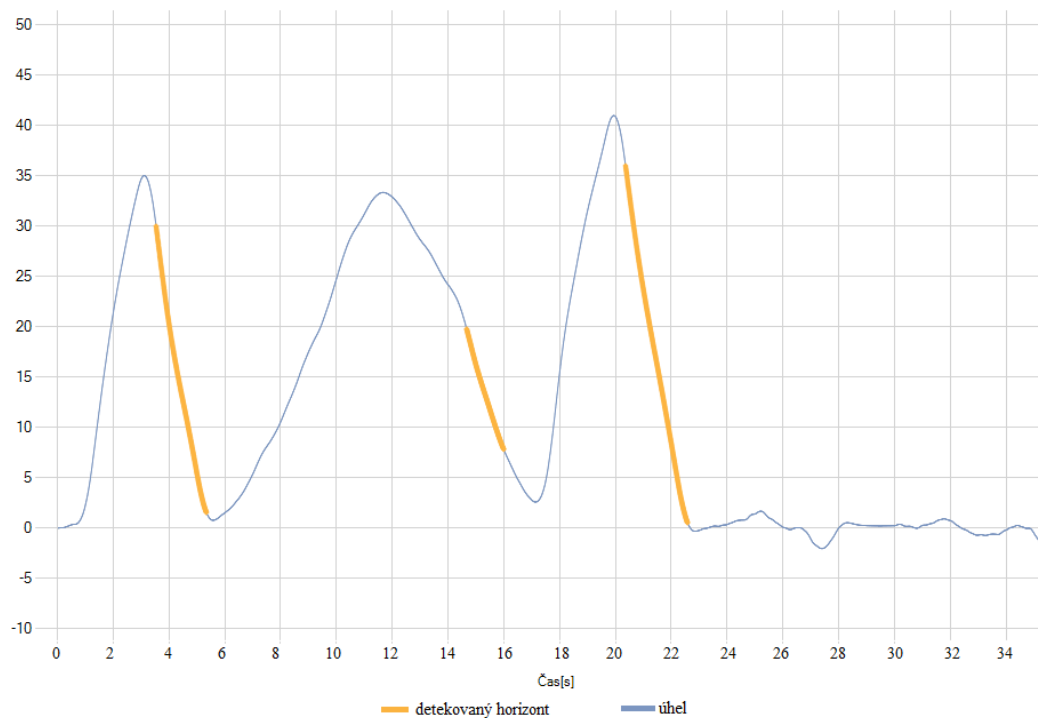
T – perioda vzorkování

p – počet vzorků před potvrzením detekovaného horizontu



Obr. 15 Aktivitní diagram aplikace pro detekce horizontu

Program je naimplementován v programovacím jazyce C a zkompilován překladačem GCC pro mikroprocesory. Pro inicializaci procesoru je využit Vision SDK, který je vyvíjen právě pro zvolený procesor.

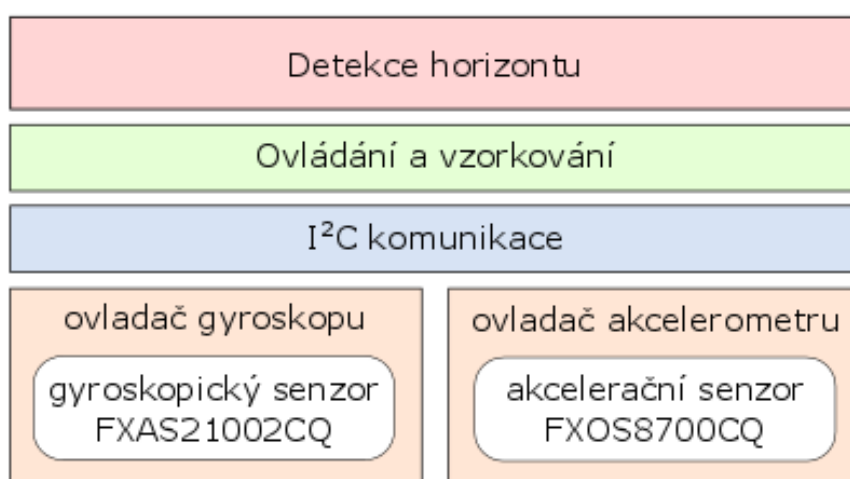


Obr. 17 Graf detekce přejezdu přes horizont v závislosti na čase

V grafu na obr. 17 je vidět detekovaný horizont pokud klesání je větší jak stanovená konstanta k a doba klesání je delší než d . V čase 22 sekund od počátku měření byl simulovány výrazné vibrace, které díky vhodnému filtrování nezpůsobily falešnou detekci horizontu.

6.2 Architektura aplikace

Aplikace je rozložená na jednotlivé vrstvy. Vrstvy rozkládají úkol detekce přejetí přes horizont na jednotlivé úkoly. Každá vrstva zpracovává vlastní úkol a poskytuje své služby vyšší vrstvě. Na nejnižší vrstvě pracují ovladač akcelerometru a ovladač gyroskopu. Ke konfiguraci senzorů a následný přenos dat slouží komunikační vrstva I²C. Vrstva I²C komunikace poskytuje své služby vrstvě pro ovládání a vzorkování. Vrstva pro ovládání a vzorkování slouží k řízení vzorkování dat z jednotlivých senzorů, také slouží k převodu surových dat senzorů na jednotlivé úhly. Tyto úhly jsou předávány nejvyšší vrstvě. Na nejvyšší vrstvě se nachází vrstva detekce horizontu, která poskytuje abstrakci hardwaru. Nezabývá se vlastnostmi daných senzorů, pouze zpracovává předávané úhly a pomocí algoritmu detekce přejezdu přes horizont detekuje a signalizuje přejetí přes horizont.



Obr. 16 Jednotlivé vrstvy aplikace

6.3 Zobrazení výsledků algoritmu

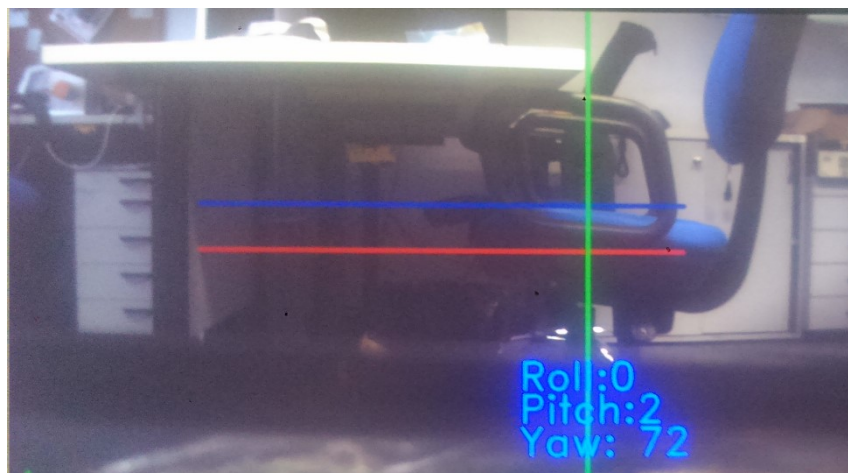
Pro demonstrování výsledků detekce horizontů a jednotlivých úhlů, je využita kamera a projekční zařízení. Jako projekční zařízení může být zvolen LCD displej, který je součástí vývojové desky nebo externí monitor propojený HDMI kabelem. Pro upravení jednotlivých snímků z kamery je použita OpenCV knihovna. OpenCV je otevřená multiplatformní knihovna sloužící k manipulaci s obrazem. Je zaměřena především na zpracování obrazu v reálném čase a počítačové vidění. Knihovna je vytvořena v programovacím jazyce C/C++ a proto se přesně hodí pro danou aplikaci.

```
/* create new OpenCV matrix */
frame = cv::Mat(1080, 1920, CV_8UC3, lpFrame);
/* calculate coordinates from roll angle */
A = (int)(cos(roll * (M_PI / 180.0)) * Lenght / 2);
B = (int)(sin(roll * (M_PI / 180.0)) * Lenght / 2);
/* draw roll angle line*/
line(frame, cv::Point(CenterX - A,CenterY + B), cv::Point(CenterX + A,CenterY -
B), cv::Scalar(0,0,100), 6, 8);
/* calculate coordinates from pitch angle */
int pitchP1X = CenterX - (Lenght / 2);
int pitchP1Y = CenterY + (pitch*24.0f);
int pitchP2X = CenterX + (Lenght / 2);
int pitchP2Y = CenterY + (pitch*24.0f);
/* draw pitch angle line */
line(frame, cv::Point(pitchP1X,pitchP1Y), cv::Point(pitchP2X, pitchP2Y),
cv::Scalar(100,0,0), 6, 8);

/* prepare text for pitch and roll angles */
char pitchText[25] = "Pitch";
char rollText[25] = "Roll";
int roundedPitchAngle = (int)pitch;
int roundedRollAngle = (int)roll;
sprintf(pitchText,"Pitch:%d", roundedPitchAngle);
sprintf(rollText,"Roll:%d",roundedRollAngle);

/* draw roll text */
putText(frame, rollText, cv::Point(750,570), 2, 2, CV_RGB(100,0,0));
/* draw pitch text */
putText(frame, pitchText, cv::Point(750,620), 2, 2, CV_RGB(0,0,100));
```

Za pomoci této implementace je možno zobrazit ve snímku kamery úsečky zobrazující boční náklon a přední náklon, také je možno zobrazit daný úhel v podobě textu.

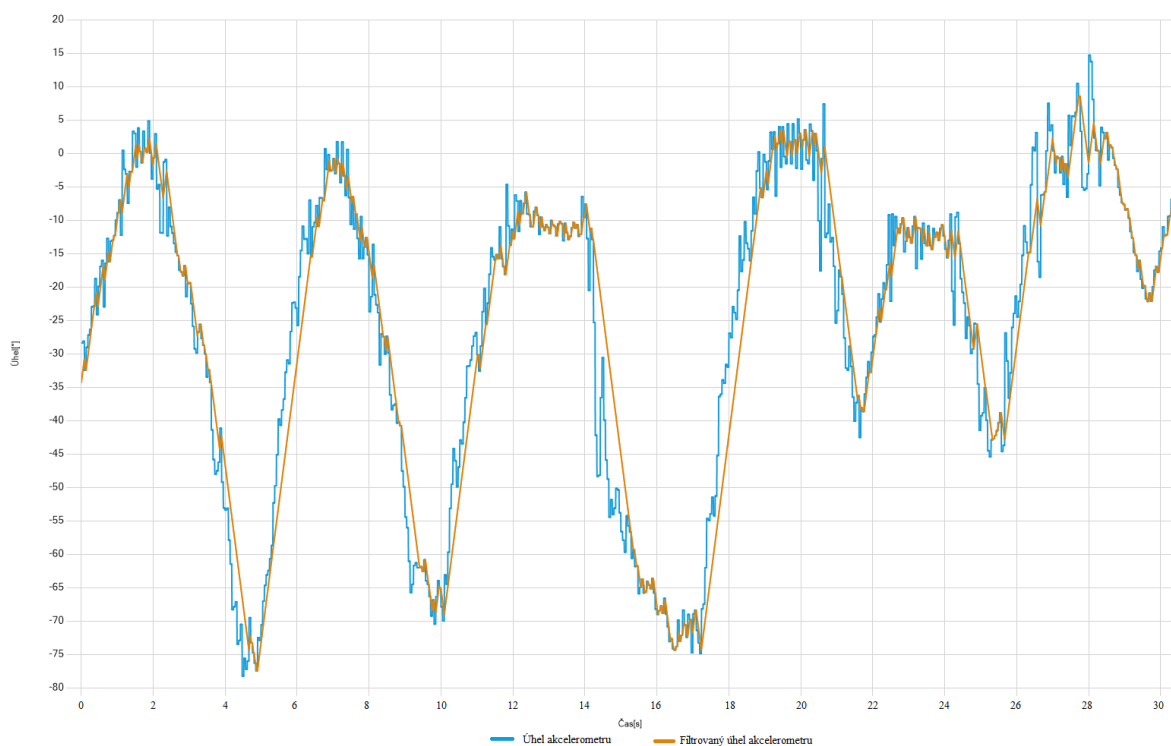


7. Závěr

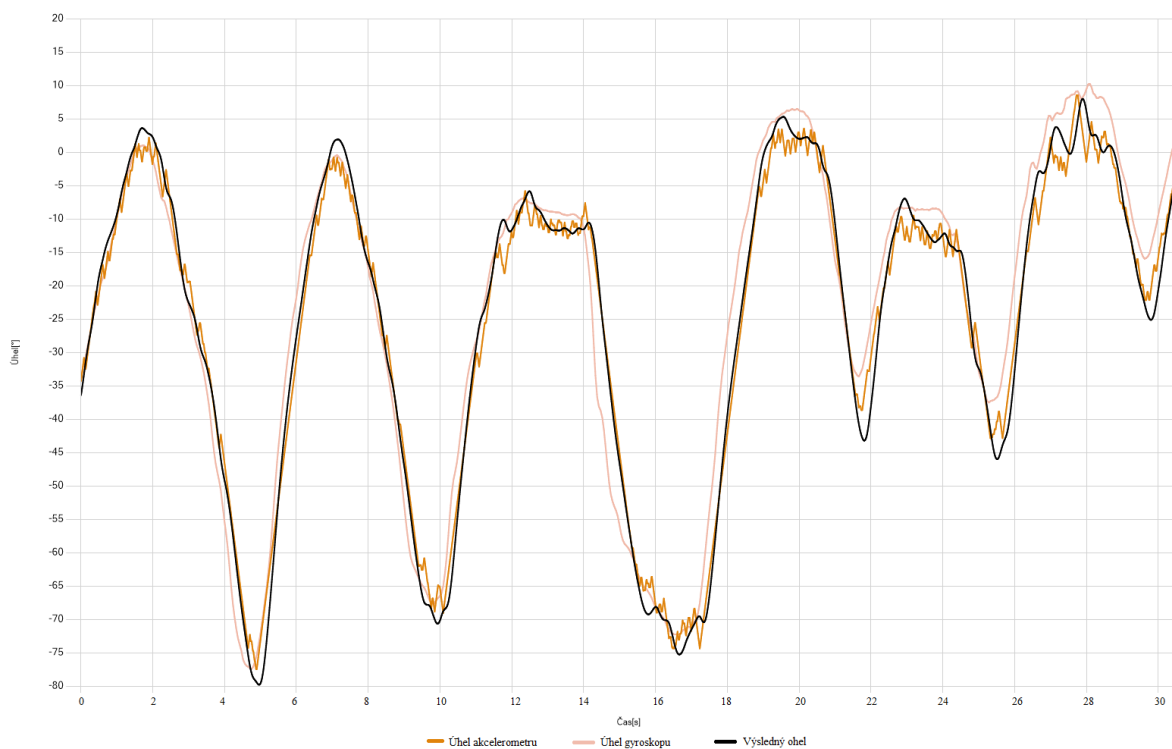
V práci jsou popsány hlavní body návrhu detekce horizontu za pomoci pozičních senzorů. Také je nastíněn problém rozpoznávání vodící čáry na vozovce a odůvodnění daného řešení. V první části je popsáno navržené řešení, výběr senzorů, jejich popis a komunikace. Komunikace mezi procesorem a pozičními senzory je navržena s ohledem na dostačující propustnost dat.

Následující části jsou popsány metody filtrace dat. Pro dosažení vhodné filtrace je použita série filtrů jak lineárních na hardwarové vrstvě, tak nelineárních na vrstvě softwarové. Tato část také vysvětluje běžné negativní vlastnosti daných elektronických senzorů a možnosti jejich řešení. Pro výpočet úhlů z akcelerometru a gyroskopu jsou uvedeny dva nejpoužívanější algoritmy, jejich vlastnosti a vzájemné porovnání.

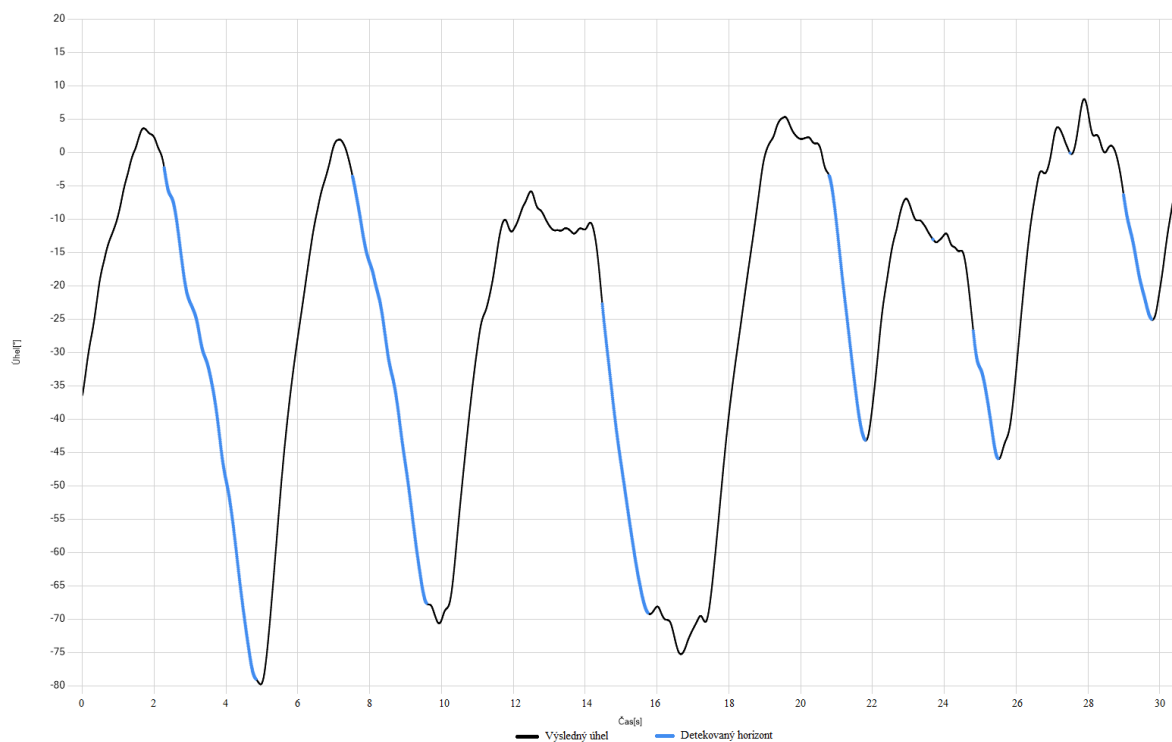
V následující části je popsán algoritmus detekce horizontu, hlavní jeho požadavky a vlastnosti. Jak algoritmus komplementární filtr, tak Kalmanův filtr, byly implementovány a důkladně otestovány. Po měření vyplynulo, že Kalmanův filtr je vhodnější pro dané řešení.



Obr. 17 Nelineární filtrace pro větší množství dat



Obr. 18 Porovnání úhlů pro větší množství dat



Obr. 19 Detekování horizontu pro větší množství dat

Grafy na obrázcích číslo 17,18 a 19 pocházejí z jedné série dat. V této sérii byly simulovány silicí vibrace vždy v oblasti s maximální hodnotou.

Oblast	Průměrná hodnota vrchol – vrchol [°/vzorek]	Maximální hodnota vrchol – vrchol [°/vzorek]
Číslo 1.	3.581322279	8.245320641
Číslo 2.	3.509128752	8.245320641
Číslo 3.	1.523341858	5.66928125
Číslo 4.	4.981045945	16.81093882
Číslo 5.	3.201906128	16.16453428
Číslo 6.	3.66055779	17.76197257

Tab. 1 Porovnání vibrací v jednotlivých oblastech

V oblastech číslo 1,2 a 3 se nacházejí mírné vibrace, nezpůsobí detekci falešného přejezdu přes horizont. Naopak v oblastech číslo 4,5 a 6 se nacházejí silné vibrace, tyto vibrace způsobí falešnou detekci horizontu. V praxi však tak silné vibrace za normálních podmínek provozu automobilu nenastanou.

Po zhodnocení naměřených výsledků, bylo odvozeno, že v reálných podmínkách není možno navrhnout detekci horizontu za pomoci pozičních senzorů bez zpoždění signalizace. Hlavním důvodem je, že senzory podléhají vnějším vlivům okolí a je zapotřebí odlišovat klesání způsobené otřesy nebo vibracemi od klesání způsobené přejezdem přes horizont. Tato vlastnost komplikuje obecný návrh detekce horizontu a způsobuje, že daný návrh musí být vhodně navržen pro řešenou situaci. Tedy, že musí být vhodně zvolena doba zpoždění generovaného signálu pro rozpoznání horizontu a také správně zvolena úroveň poklesu předního náklonu v závislosti na čase.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Datasheet k FXAS21002C [online] [cit. 2016-2-16] Dostupné z http://cache.nxp.com/files/sensors/doc/data_sheet/FXAS21002.pdf?fpsp=1&WT_TYPE=Data%20Sheets&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation&fileExt=.pdf
- [2] Datasheet k FXOS8700CQ [online] [cit. 2016-2-16] Dostupné z http://cache.nxp.com/files/sensors/doc/data_sheet/FXOS8700CQ.pdf?fpsp=1&WT_TYPE=Data%20Sheets&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation&fileExt=.pdf
- [3] Sběrnice I2C O co jde a jak pracuje [online] [cit. 2016-2-16] Dostupné z <http://www.dhservis.cz/iic.htm>
- [4] Getting the angular position from gyroscope data [online] [cit. 2016-2-16] Dostupné z <http://www.pieter-jan.com/node/7>
- [5] NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU DVOUKOLÉHO MOBILNÍHO ROBOTU [online] [cit. 2016-2-16] Dostupné z http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2013/DP_Hess.pdf Vedoucí práce Pavel Houška.
- [6] Článek Dolní frekvenční propust'. [online] [cit. 2016-2-16] Dostupné z http://www.amapro.cz/public/ele/filtr_dp.php

SEZNAM PŘÍLOH**Příloha 1: DVD**

1. Naměřená data
 - a. Akcelerometr osa X
 - b. Akcelerometr osa Y
 - c. Akcelerometr osa Z
 - d. Gyroskop osa X
 - e. Gyroskop osa Y
 - f. Gyroskop osa Z
2. Aplikace detekce horizontu
 - a. Zdrojové kody
 - b. Kompilační soubor